

8.6 Optoelektronika

Optoelektronika se zabývá přeměnou elektrické energie na elektromagnetické záření (většinou viditelné světlo) a opačně.

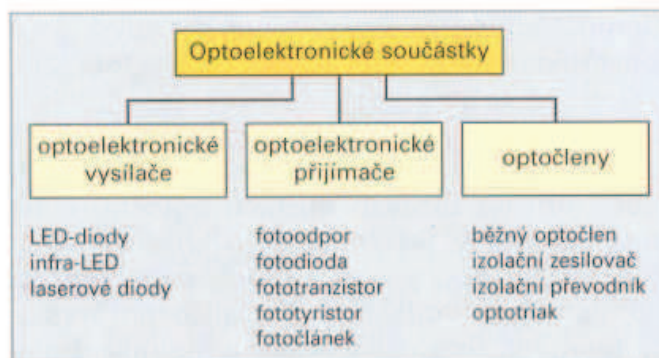
Optoelektronické prvky se dělí na optoelektronické vysílače, optoelektronické přijímače a smíšené obvody obou, optočleny (obr. 1).

Optoelektronické prvky využívají vnitřního fotoefektu (str. 181). Okem pozorovatelné světlo je elektromagnetické vlnění ve vlnovém rozsahu od 400 nm do 700 nm vlnové délky.

8.6.1 Optoelektronické vysílače (svítivé diody, LED)

Svítivé diody (Light Emitting diode, LED), nebo též luminiscenční diody jsou diody, které při průchodu elektrického proudu svítí.

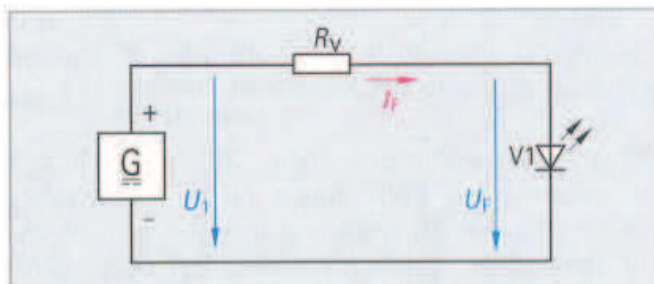
Svítivé diody se běžně nazývají LED-diody nebo ledky a v dnešní době dosahují svítivosti až 7 kandel. Svítivé diody přeměňují proud na PN přechodu ve světlo (opačně než při fotoefektu). Jsou vyráběny ze smíšených krystalů GaAsP (galiumarsenfosfid), GaAs (galiumarsenid), GaP (galiumfosfid) a GaN (galiumnitrid). Barva světla LED diody je určena polovodičovým materiálem a jeho dotací (příklady v tabulce 1). Dotace např. dusíkem (N) nebo fosforem (P) dává podle stupně dotace různá zabarvení. LED-diody se vyrábějí ve velkém sortimentu velikostí, barev a svítivosti, jednoduché, dvojité i čtyřnásobné v jednom pouzdře, vysoce svítivé i blikající. K zobrazování číslic se používají soustavy tyčinkovitých ledek uspořádaných do tvaru číslice 8 (sedmi-segmentové displeje, tabulka 2). Vyrábějí se i 14-ti a 16-ti segmentové zobrazovací jednotky. LED-diody jsou zapojovány vždy v propustném směru (obr. 2), proto se v technických datech uvádí jen charakteristika v propustném směru (obr., str. 181). Z této charakteristiky lze přechíst, že prahové napětí červené ledky CQY 40 je přibližně 1,5 V. Provozujeme-li diodu při 10 až 20 mA, bude odpovídající napětí 1,5–1,7 V. Maximální proud I_{Fmax} diody, který je závislý na typu a bývá do 50 mA, by neměl být překročen. Proto je potřeba zařazovat vždy předřadný odpor R_V (obr. 2) k omezení proudu.



Obr. 1 Rozdělení optoelektronických prvků (příklady)

Tabulka 1: Materiály pro LED-diody

materiál a dotace	barva světla	vlnová délka v nm	napětí U_F
GaAs/Si	infračervená	930	1,2 V
GaAs/P	červená	655	1,6 V
GaAsP/N	oranžová	625	1,6 V
GaAsP/N	žlutá	590	1,8 V
GaP/N	zelená	555	1,8 V
GaN	modrá	465	3 V



Obr. 2 Základní zapojení LED-diody

R_V předřadný odpor
 U_1 napájecí napětí
 U_F propustné napětí
 I_F propustný proud

$$R_V = \frac{U_1 - U_F}{I_F}$$

Tabulka 2: Typy LED (příklady)

1,8 mm LED	3 mm LED	sedmi-segmentový displej

Příklad: LED-dioda CQY 40 má být napájena napětím 12 V a provozována při proudu 20 mA. Vypočtete:

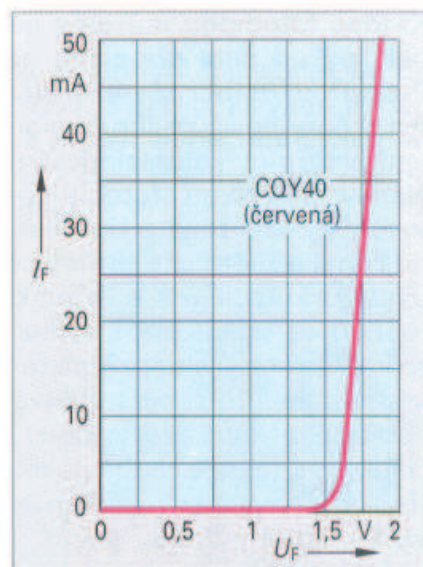
- hodnotu předřadného odporu,
- pod jakou hodnotu nesmí klesnout hodnota předřadného odporu při $I_{F\max} = 50 \text{ mA}$?

(z charakteristiky: $I_F = 20 \text{ mA} \Rightarrow U_F = 1,7 \text{ V}$; $I_F = 50 \text{ mA} \Rightarrow U_F = 1,8 \text{ V}$)

$$a) R_V = \frac{U_1 - U_F}{I_F} = \frac{12 \text{ V} - 1,7 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 515 \Omega$$

$$b) R_{V\min} = \frac{U_1 - U_F}{I_{F\max}} = \frac{12 \text{ V} - 1,8 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 204 \Omega$$

LED-diody se používají jako prvky zobrazovacích jednotek, např. v měřicí technice, k přenosu signálu, jakož i k dálkovému ovládání radiopřijímačů a televizních přijímačů. Proti žárovkám k signalizačním účelům mají výhody i nevýhody (**tabulka 1**). Pokud jsou LED-diody napájeny střídavým napětím, nesmí být během záporné půlvlny překročena hodnota maximálního závěrného napětí (většinou 5 V).



Obr. 1 Charakteristika LED-diody CQY 40

8.6.2 Optoelektrické přijímače

Fotodiody

Fotodiody se většinou vyrábějí z křemíku. Fotodioda je provozována s přepětím v závěrném směru. Bez osvětlení protéká jen nepatrný proud, způsobený jenom teplem. Fotoproud I_P narůstá lineárně s narůstajícím osvětlením a není vůbec ovlivňován velikostí závěrného napětí.

Fotodiody se používají k měření světla a pro světelné závory.

Fotoodpor

Fotoodpory (**tabulka 2**) mění svůj odpor v závislosti na osvětlení. Vlastní fotorezistor je tvořen polovodičovým materiálem, např. sirníkem kadmia (CdS), napařeným v tenké vrstvě na skleněnou destičku a zapouzdřeným (polovodičem dovnitř). Fotoodpory pracují na principu vnitřního fotoefektu. Světelné záření uvolní v polovodiči další páry nosičů nábojů (elektrony a díry). Skončí-li osvětlení, vrátí se elektrony do původního stavu (rekombinují s dírami).

S rostoucím osvětlením roste elektrická vodivost, tedy klesá odpor. Rozlišují se hodnoty odporu za světla R_h a odporu za tmy R_d (tabulka 2).

Tabulka 1: Výhody a nevýhody LED-diody

výhody:

rozsvítí se bez zpoždění,
velká životnost,
nepatrná spotřeba,
mechanická stabilita,
malá provozní teplota

nevýhody:

malá svítivost,
jen pro informační účely

Tabulka 2: Fotoodpor

provedení	zapojení a využití	technická data (např. RPY 63)
fotocitlivá vrstva polovodiče skleněné okénko	zapojení v expozimetru	mezí hodnoty: ztrátový výkon: $P_{\text{Tot}} = 50 \text{ mW}$ mezí napětí: $U_G = 50 \text{ V}$ jmenovité hodnoty: odpor za tmy $R_d \geq 1 \text{ M}\Omega$ odpor za světla $R_h < 1 \text{ k}\Omega$

Každou fotodiodu můžeme použít jako fotočlánek, pokud není připojena na závěrné napětí. Prostorový náboj závěrné vrstvy uvede do pohybu páry nosičů nábojů uvolněných při osvětlení vnitřním fotoelektrickým efektem. Fotočlánky s velkou fotocitlivou plochou jsou vyráběny převážně z křemíku, ale také ze selenu, sirníku kadmia (CdS) nebo z galiumarsenidu (GaAs). Fotočlánek s kontakty polovodič-kov (obr. 1) se skládá např. z plochého polovodiče typu P, na který je napařena tenoučká průhledná vrstva zlata. Přechod se vytváří pak mezi polovodičem a krycí elektrodou. Někdy jsou fotočlánky používány např. jako CdS osvitoměry (expozimetry) a při všech řízeních a regulacích světla, která vyžadují snímání a měření osvitů velkých ploch.

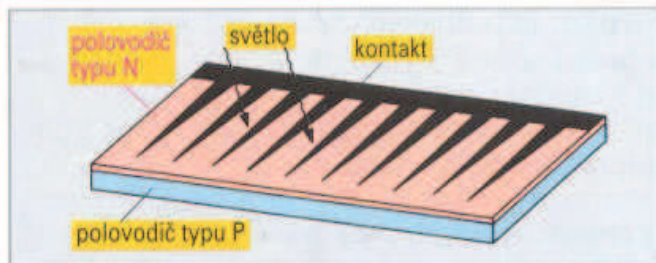
Solární články

Solární články (sluneční baterie) jsou polovodičové prvky, které mění světelnou energii v energii elektrickou.

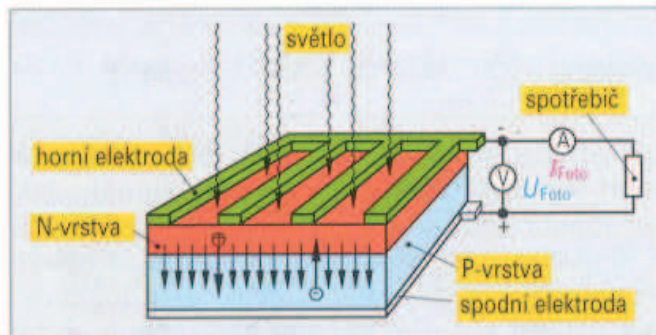
Přímou přeměnou světla na elektrickou energii se dnes zabývá samostatná specializace (v Německu má název Fotovoltaik). Fotoelektrický efekt vysvětluje vznik volných elektrických nosičů dopadem záření. Celkově se daří přeměnit v elektrickou energii jen asi 17% energie dopadajícího záření.

Solární články jsou tvořeny polovodičovými plátkami tenčími než 1 mm (obr. 2). Na spodní straně je plošná průchozí elektroda. Horní elektroda má plošné uspořádání tvaru dlouhých prstů zasahujících do plochy. Tak může světlo na plochu svítit. Povrch solárního článku je chráněn skleněnou vrstvou. Slouží jako antireflexní vrstva a zabezpečuje tak, aby co nejvíce světla vniklo do polovodiče. Antireflexní vrstvy se většinou tvoří napařením oxidu titanu. Tím získá solární článek svůj tmavomodrý vzhled. Jako polovodičový materiál se používá převážně křemík. Jiné polovodičové materiály, např. galiumarsenid, kadmiumsulfid, kadmiumtellurit, selenid mědi a india, nebo sirník galia se zatím zkoušejí. Krycí sklo chrání povrch solárních článků i před vlivy prostředí.

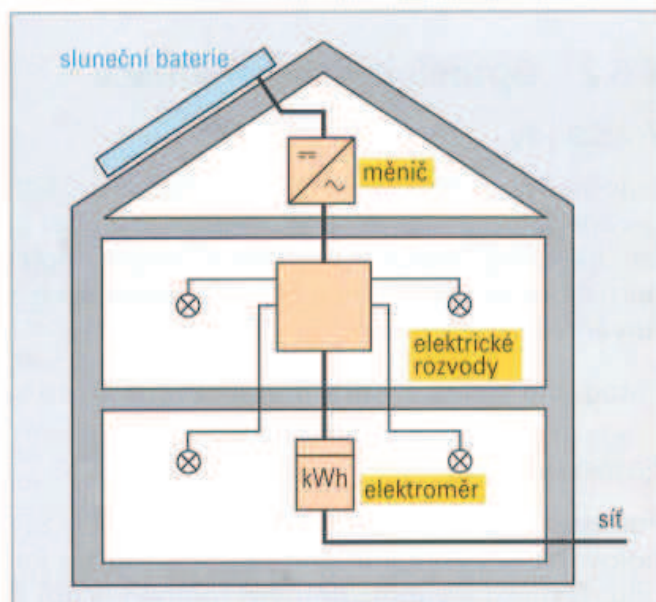
Princip činnosti: Ozáření solárního článku, resp. závěrné vrstvy jeho PN přechodu světlem uvolní v polovodiči nosiče nábojů. V závěrné vrstvě uvolňují dopadající fotony¹ dvojice volných nosičů nábojů, elektrony a díry. Prostorové náboje závěrné vrstvy tlačí elektrony k N-vrstvě a díry k P-vrstvě. Vzniká tak fotoelektrické napětí (stejněsměrné), které vyvolá fotoelektrický proud; výsledkem je přeměna světla v elektrickou energii. Mezi horní a dolní plochou solárního článku, tedy mezi elektrodami, může být odebrán stejnosměrný proud a může být naměřeno elektrické napětí.



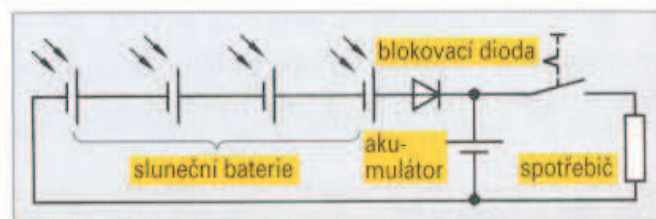
Obr. 1 Principiální skladba fotočlánku



Obr. 2 Složení fotočlánku



Obr. 3 Zařízení slunečních baterií



Obr. 4 Sluneční baterie s akumulátorem

¹ nejmenší jednotka (kvantum) elektromagnetického záření

Využití solárních článků

Výroba elektrické energie solárními články má mnoho využití, od solárních kalkulaček až po energetické zabezpečení horských chat v rozsahu kW (obr. 3, str. 182). Elektrický výkon je dán celkovou plochou a účinností solárních článků. Při průměru 10 cm a plném slunečním svitu může dávat článek výkon 1,25 W, a to při napětí 0,5 V a proudu 2,5 A. Vyšší napětí se získá sériovým řazením (obr. 4, str. 182) a větší proud paralelním řazením článků.

Fototranzistor

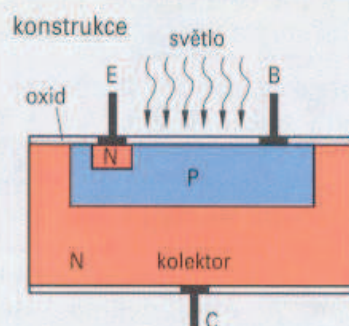
Fototranzistor je křemíkový tranzistor s okénkem o ploše několika mm², kterým může světlo svítit na dráhu mezi bází a emitorem (tabulka 1). Princip činnosti má stejný základ jako u fotodiody, avšak zde dojde účinkem světla k zesílení kolektorového proudu. Fototranzistor má tak 100 až 500 krát větší citlivost na světlo, než srovnatelná fotodiody. Bez dopadu světla se tranzistor chová stejně jako obdobný bipolární tranzistor. Protéká jen malý zbytkový proud kolektor-emitor (několik nA). Při dopadu světla se na PN přechodu uvolní nosiče nábojů a zvýší vodivost závěrné vrstvy. Fototranzistor se otevře a vede proud. Vysoké citlivosti lze dosáhnout při zapojení s volnou bází. Proto se některé fototranzistory dělají bez vývodu báze.

Fototranzistory se používají ve snímačích čárového kódu a světelných závorách.

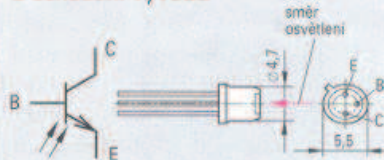
8.6.3 Optočleny

Optočleny (tabulka 2), nebo též optické vazební (spojovací) členy, umožňují přenos signálu při galvanickém oddělení mezi dvěma elektrickými obvody. Přitom může být mezi oběma obvody rozdíl elektrických potenciálů třeba i tisíce voltů. Optočlen uvnitř obsahuje luminiscenční diodu jako vysílač a fototranzistor jako přijímač. Jako vysílač bývá použita infračervená GaAs – dioda. Má vysokou účinnost a trvanlivost. Vysílač i přijímač jsou umístěny opticky proti sobě a od okolí světlotěsně odstíněny (tabulka 2b). Optočlen přenáší informace optickou cestou od luminiscenční diody k fototranzistoru (tabulka 2c).

Tabulka 1: Fototranzistor



schematická značka a označení vývodů



elektrické parametry (BPX 62)

mezí hodnoty:

U_{CEO}	32 V
P_{tot}	0,25 W
I_{Cmax}	25 mA

jmenovité hodnoty

fotoproud I_p	1,2 až 10 mA
(při 1000 I_x)	
proud za tmy	5 nA

Tabulka 2: Optočlen

a) pouzdro	b) konstrukce	c) zapojení	c) parametry (příklad)
			- izolační zkušební napětí 2,5 kV - činitel proudového přenosu 25 až 50 - spínací doba 3 μs - vazební kapacita 1pF

Při použití optočlenu je třeba dávat pozor na technická data (tabulka 2d). **Izolační zkušební napětí** je maximální přípustné napětí, které se může krátkodobě vyskytnout mezi vstupem a výstupem optočlenu. **Činitel proudového přenosu** udává poměr mezi výstupním kolektorovým proudem a vstupním diodovým proudem.

Optočleny s vysokým činitelem proudového přenosu jsou velmi citlivé. Optočleny jsou používány např. v měřicí a regulační technice, ve sdělovací a výpočetní technice. V silnoproudé elektrotechnice se používá optotriak a Solid State Relay (SSR), což je spojení optotriaku s výkonovým triakem ve společném pouzdře.

8.6.4 Zobrazovače s kapalnými krystaly (LCD)

Zobrazovače s kapalnými krystaly LCD (Liquid Crystal Display)¹, krátce nazývané LCD-displeje jsou na bázi organických látek s nízkým bodem tání. Ve stavu mezi kapalným a pevným skupenstvím je optická orientace krystalů (tedy schopnost polarizovat určitým směrem světlo) závislá na směru vnějšího elektrického pole. Elektrickým polem je tedy možno část krystalů zorientovat a tím zviditelnit oproti krystalům nezorientovaným.

Zobrazovače s kapalnými krystaly jsou pasivní zobrazovače, které nevyzařují žádné světlo. Ke zviditelnění údajů je nutné okolní dopadající světlo nebo světlo prozařující zobrazovač zespodu.

Konstrukce: Vrstva kapalných krystalů silná asi 10 μm je mezi dvěma skleněnými destičkami (tabulka 1). Na jedné skleněné destičce jsou napařeny elektrody ve tvaru prvků (segmentů) obrazů, na druhé destičce je napařena celoplošná průhledná elektroda. Mezi celoplošnou elektrodou a protilehlými segmentovými elektrodami připojenými na napětí dojde k zorientování kapalných krystalů a jejich ztmavnutí. Aby nedocházelo k rozkladu kapalných krystalů elektrolýzou, nepoužívá se stejnosměrné napětí, ale střídavé napětí nízkého kmitočtu.

Tabulka 1: Konstrukce a technická data LCD

budicí napětí	1 V až 40 V
výkonový odběr	1 μW až 1000 μW
odběr proudu na 1 cm^2	1 μA až 10 μA
kmitočet řídicího proudu	30 Hz až 1,5 kHz
vybavovací doba	100 ms až 500 ms

8.6.5 Příklady zapojení optoelektronických přijímačů

Optoelektronické přijímače převedou signály viditelného či neviditelného záření na signály elektrické a ty potom zesílí. Optoelektronické přijímače se obecně skládají z optoelektronického prvku a zesilovače (tabulka 2).

Tabulka 2: Optoelektronické přijímače (základní zapojení)

zapojení				
funkce	při dopadu světla vzroste vodivost fotoodporu a pak tranzistoru U_a poklesne	při dopadu světla vznikne na fotočlátku napětí, tranzistor vede méně U_a vzroste	při dopadu světla bude fototranzistor V1 i tranzistor V2 vodivější U_a poklesne	při dopadu světla se otvírá fototranzistor V1, tranzistor V2 se zavírá U_a vzroste

Otázky k opakování

1. Na jaké skupiny se dělí optoelektronické prvky?
2. Vyjmenujte polovodičové materiály pro výrobu LED-diod.
3. Vyjmenujte výhody a nevýhody LED-diod.
4. Jak se chová fotoodpor při osvětlení?
5. Co se rozumí solárními články?
6. Jmenujte použití solárních článků.
7. K čemu jsou využívány fototranzistory?
8. Popište konstrukci optočlenu.
9. Jakým napětím musí být ovládány LCD-displeje?

¹ anglicky znamená zobrazovač z tekutých krystalů